菇類太空包自動化系統發展現況

State-of-the-art of automatic production systems for PP-bag mushroom cultivations

周榮源 教授
Rong-Yuan Jou, PhD, Professor
國立虎尾科技大學 機械設計工程系
電子郵件：ryjou@nfu.edu.tw；傳真：05-6363010

摘 要

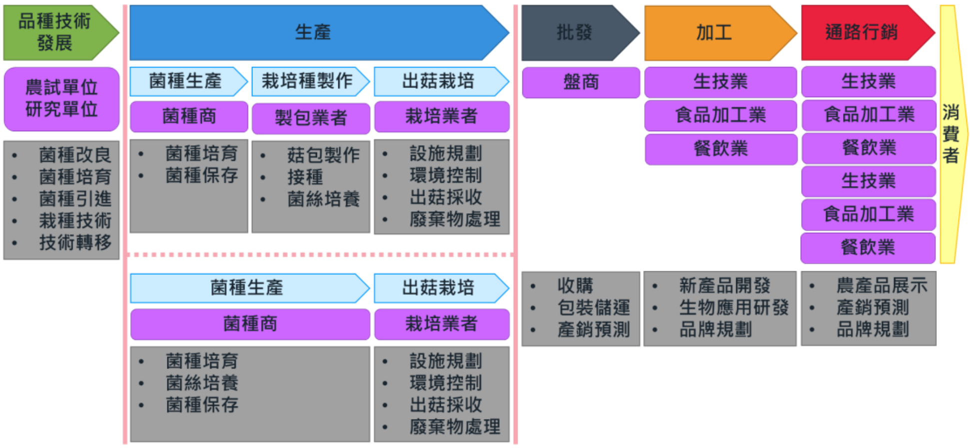
台灣正面對人口老化與天然資源短缺等問題，急需進行菇類太空包製包生產技術之研發與技術創新，以改善人力不足問題，調整產業環境與結構，提升生產效率與品質。本文針對菇類產業特性與其生產技術進行分析以瞭解產業現況與機會，尋求突破困境解決方法。由瓶栽菇類自動化生產工廠之案例可以發現，其生產流程與一般科技產業之生產模式其實是很相近的。因此，針對目前菇類產業現況面臨之生產成本高漲、欠缺自動化與整合升級、非安定化生產，品質規格待提升等種種問題，若能結合工業 4.0 技術將工業領域中的新科技引入菇類生產，可達成運用智慧農業科技之全自動化袋式太空包製包生產之目標。本文所提出之智慧化袋栽太空包製包自動化生產系統是一項具創新性且高度系統整合生產線設計，目前尚未有類似功能之太空包製包生產作業系統，對創新產業發展與培育高階設計人才具有很大助益。利用袋式太空包製包自動化生產與液態接菌等製程技術，可提高菇類製包產量及品質，創造生產利潤與提升國際競爭力。此外，利用智慧農業 4.0 技術達到智慧化、工廠化菇類生產，除了可以創造一種新生活型態或是新產業模式，更可以帶動我國另一波產業發展，邁進低碳、綠能、環保之永續發展方向。

關鍵詞：菇類、太空包、製包、智慧農業、工業 4.0

緒 言

2015 年我國新鮮菇類產量年約 14 萬公噸，產值逾 130 億元，占整體蔬菜總產值 475 億元之 18%，菇類栽培太空包生產約 5 億 4100 萬包。如表一所示為台

灣生產菇類之產值、產量與主要產地。[1-4] 如圖一所示，目前台灣菇蕈產業所包含的業者可區分為：資材業者（例如：介質、肥料等）、設備業者(栽植設施、廢棄物處理設施等)、菌種生產業者、量產生產業者、加工/服務業者（例如：萃取、食物加工等）、運銷/通路業者（例如：冷物鏈、銷售通路等）等區段。近年來中國食用菌總產量增長迅速。根據中國食用菌協會統計資料顯示，2016 年全國食用菌總產量 3,597 萬噸，產值 2,742 億元，比 2015 年的產量 3,476 萬噸增長 3.46%，比 2015 年的產值 2,516 億元增長了 8.96%。[5] 比較中國與台灣之產量與產值大小，產量約為 3476/14.6=238 倍、產值約為 2742/130=21 倍。



圖一、台灣菇蕈產業鏈示意圖

表一、台灣主要菇類之產值與產量 (資料來源：農委會農試所)

項目	栽培量 (萬包)	產量 (公噸/鮮)	產值 (百萬元)	產地
香菇	20,000	51,870	5,970	台中市、南投縣
金針菇	13,000	42,000	1,764	台中市、南投縣、苗栗縣、彰化縣
杏鮑菇	12,000	21,600	1,404	台中市、彰化縣、南投縣
木耳	3,500	12,600	945	彰化縣、南投縣、嘉義縣
秀珍菇	1,600	3,250	260	台中市，彰化縣、、南投縣
洋菇	2.42x10^5 m^2	2,921	313	彰化縣、南投縣、台南縣
其他	4,000	12,300	1,600	中部地區、屏東縣
合計	54.1 千萬包 2.42x10^5 m^2	146,541	12,256	(2015)

根據文獻[6]之分析，我國最早自臺灣省農業試驗所於 81 至 84 年度間既已陸續購置瓶栽食用菇類之自動化生產設備及設施，包括材料之電動篩選、儲存、混合、加水設備，栽培基質全自動裝送瓶、裝瓶、壓瓶及封瓶設備，全自動天然氣鍋爐與電腦程式控制殺菌設備，冷卻室及接種室之自動控溫、無塵過濾、除溼、殺菌設備，自動接種機與菌種籃自動輸送系統，菌種培養室自動控溫設備，菌種瓶自動除蓋及電腦程式控制自動輸送供料系統，菌種瓶全自動去皮、加水、封蓋及輸送設備，環控栽培室內裝設自動控溫、自走式通風照明設備及熱交換機與超

音波溼度控制設備，以及二氧化碳與氧氣監視記錄設備。圖二所示為瓶栽菇類自動化生產工廠之案例，可以發現其生產流程與一般科技產業之生產模式其實是很相近的，最主要原因是產瓶為硬質塑膠瓶，容易進行全自動化生產之機台與生產作業設計，自動化程度可以很高。產瓶必須要回收再利用，因此也必須要增加一些為了回收再利用所需要之基質挖除與清洗等額外設備來輔助。

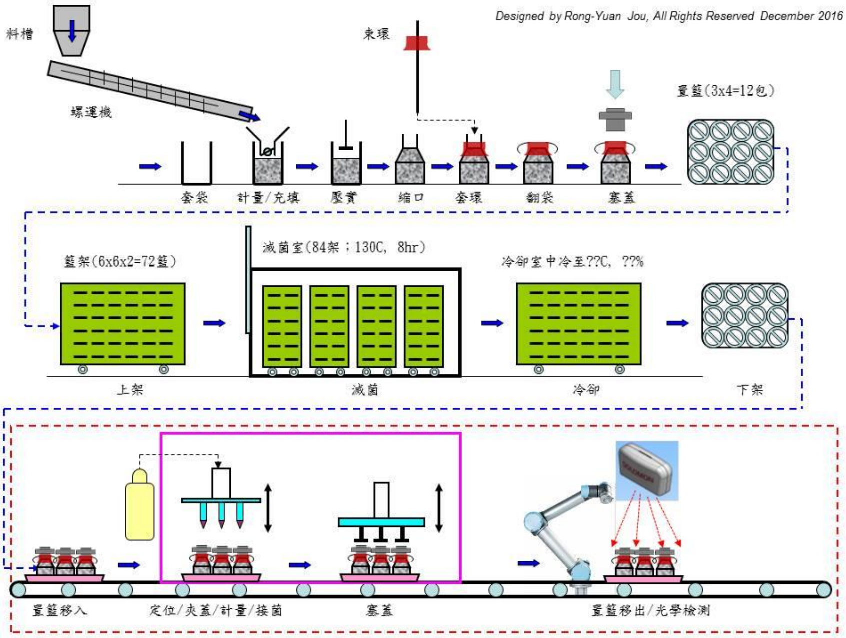
圖二、瓶栽菇類自動化生產工廠：(左)廠區與自動化堆戰區；(中)全自動環控栽培庫房與；(右)無菌室內之全自動液態菌種接菌設備(上海市某金針菇生產工廠)

相較於瓶栽生產模式，利用袋體包裝方式做菇菌栽培之袋栽生產模式受限於栽培塑膠袋為可撓變形之容器，不易設計相關自動化設備及其生產製程，如圖三所示。袋式太空包菇類生產技術整體生產過程可分為：前段-製包、中段-走菌及後段-栽培與採收等階段。以業界最普遍使用之菌種壓包機為例，其自動化功能僅包含攪拌、計量、填料、壓實動作，其他如套袋、套環、裝籃、上架、撕棉、塞口、接菌、運送至採收等生產流程皆由人工方式操作。套袋之人工操作是將一袋體袋口張開，將袋子上套至入料口，並以一夾持裝置將袋體固定於入料口上，再於菌種壓包機上作計量與填料，填完料後以一沖壓裝置將內容物壓實，以自動化機械完成以上動作後，須將料包取下，套入其配置套環，以作套口支撐用，再將袋口向外翻摺，塞入適量棉花，整齊擺放於籃子上，裝滿之籃子先置於架上，以方便移至滅菌室與冷卻室，其冷卻後之太空包需取出棉花，經逐一注射接菌後再將棉花塞於開口處，以完成菇菌栽培之接菌動作。

圖三、傳統袋式太空包製包菌種壓包製程[2]；需大量人力之製包與接菌作業

為解決袋栽太空包不易自動化生產之問題，本文作者在先前許多研究[6-17]之後提出一項創新改良袋栽菇類生產中之製包方式與流程，以自動化套袋方式取代人工套袋方式，結合束套(束環+壓蓋)式新式設計(圖四、表三)以取代傳統塞棉花之操作。經由創新設計研究，提出一套自動化機構以實現自動化束口/套環/翻袋口操作，並結合自動化操作功能使整個製包過程得以實現全自動化。圖五所示為創新設計之袋式(太空包)液態接菌製包自動化生產流程，此種製包方式對 pp 材質太空包較易設計自動化機構且成功率高。針對市面上許多不同束環+壓蓋形式(圖六)，再結合本文作者在棉花束套式液態接菌模組之研發經驗，將可設計一套創新束套(束環+壓蓋)自動化液態微生物接菌系統；並加入置藍自動化搬運等功能，達成全自動化操作之目標。

圖四、傳統束環(棉花束套式)太空包及與新式束套(束環+壓蓋)太空包之比較



圖五、創新液態接菌袋式太空包製包自動化生產之流程圖[16-17]

圖六、市面上之各式束環+壓蓋形式

表二、袋式太空包束套設計與操作方法比較

方法	棉花束套式	創新束套(束環+壓蓋)式
優點	(1) 既有生產方法，技術成熟 (2) 棉花成本低 (3) 市場占有率高	(1) 創新設計，結合菌種技術可為台灣創造藍海市場利基 (2) 對 pp 材質太空包較易設計自動化機構 (3) 成功率高、品質優良
缺點	(1) 易因人工操作汙染而失敗 (2) 僅台灣較常用，日本、中	(1) 材料成本高(但以億個分攤平均後，可以大幅降低)

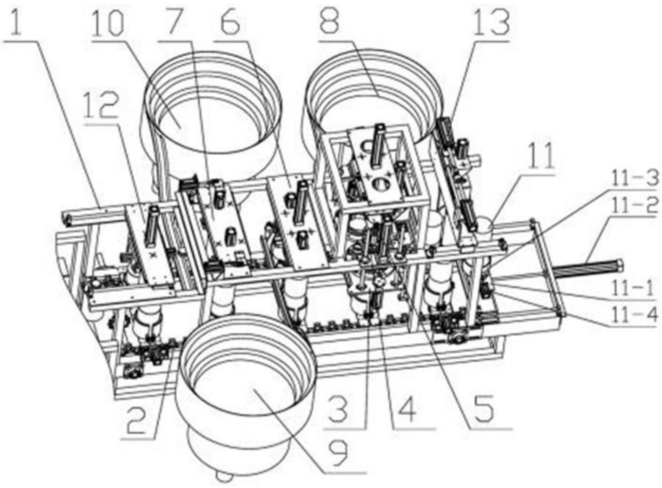
	國等多已改為束套式(束環+壓蓋) (3) 不易自動化生產	(2) 市場規格不一，且尚無自動化生產設備

表三、袋式太空包自動化套袋設計與操作方法比較

方法	堆疊式	捲袋式
優點	(1) 既有生產方法，技術成熟 (2) 市場占有率高	(1) 創新技術，藍海市場 (2) 包裝產業應用上，技術非常成熟 (3) 配合全自動化生產容易，節省人力
缺點	(1) 套袋過程易失敗，造成生產中斷 (2) 堆疊補袋較不方便	(1) 新技術，技術成熟度待驗證 (2) 有袋底封合度是否完整可靠疑慮 (3) 與現有設備無法結合

菇類自動化生產技術之現況

根據文獻[18]之分析，我國最早自臺灣省農業試驗所於 81 至 84 年度間既已陸續購置瓶栽食用菇類之自動化生產設備及設施。此外，本文作者對菇類製程設備也有一系列相關研究[6-17]。中國在袋栽太空包自動化設備之研發最為積極，設備種類也最廣泛多樣。其中又以興寶、連雲港及益利等多家公司為主要供應商。然而，中國的設備在國內採用之比例仍然不高，主要是國內菇類業者仍多半採取觀望態度。但是，中國菇類設備業者憑藉著資金充裕、人才豐沛、市場廣大等優勢，近兩年大舉投入袋栽菇類自動化設備之開發，尤其以今年蘑菇節所展覽之新設備最具突破性，已經有 2 至 3 家廠商展示並提供全功能之製包機械產品，是歷年來最主要之創新產品。如圖七所示為某公司之全功能製包機械專利，該發明涉及一種菌袋自動套套環機，包括機架以及設置於機架上的輸送裝置，機架在沿輸送裝置的輸送方向上依次設置有套套環工位、壓菌棒工位以及壓蓋工位，套套環工位上設有用於對菌袋袋口外側進行縮口的縮口機構、用於向縮口完的袋口外側套入套環的套環夾手機構以及用於在套入套環後將露置於套環上部的袋口撐開並壓向套環外壁的張爪壓袋機構，壓菌棒工位上設有用於向套完套環的菌袋袋口中壓入菌棒的壓菌棒機構，壓蓋工位上設有用於向壓完菌棒的菌袋袋口內壓入蓋子的壓蓋機構。該自動套套環機能實現對菌袋束口、套套環、壓菌棒和壓蓋的自動化生產，不僅保證了食用菌的包裝品質從而提高食用菌的品質和產量，而且大大提高了工作效率，降低人工成本[19]。

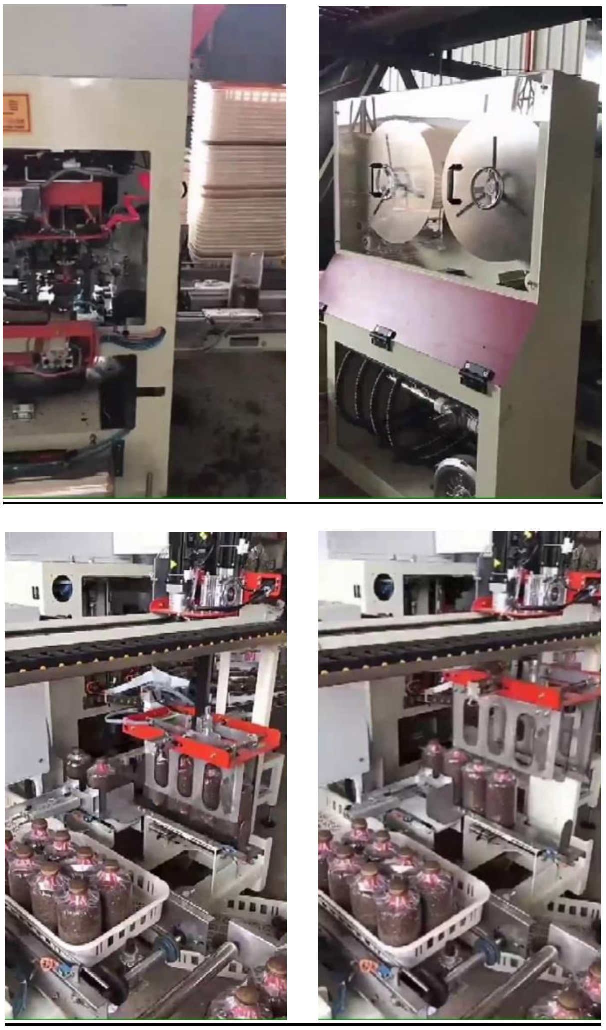


圖七、CN201510337244.3 菌袋自動套套環機[19]

依目前現況而言，中國在袋栽太空包自動化設備技術上有漸漸領先全球之勢，將來台灣可能會完全依賴中國製設備，造成技術斷層與農業安全問題。圖八所示為興寶機械之菌袋自動套套環機；圖九所示為興寶機械之自動套袋模組(2017)。圖十所示為黑寶機械最新型套袋翻袋機設計，該設備據稱生產速度可達 25 包/min，是目前所有公司產品中速度最快的機型，但是其套袋機構係採用連續式袋體以加快其生產速度，這點與所有現有設備相比是很大的差異，與產業現有作業模式有很大不同，成效如何仍有待進一步驗證。

圖八、CN201510337244.3 菌袋自動套套環機(興寶機械)

圖九、中國製自動套袋模組(興寶機械，2017)



圖十、中國製自動套袋/翻袋機(黑寶機械，2018)

現有袋栽製包流程為配合自動化生產模式，已由塞棉花之作業方式改為束環+壓蓋之方式。各別菇類栽培廠商為了本身栽培技術之特性，對壓蓋設計有許多不同需求，目前並無統一標準可以依循。對每一種結構都需要客製化其專用的機台形式，這樣對設備自動化上造成很大困擾。如圖六所示，為市面上一些在討論使用之束環+壓蓋形式，可以發現其結構差異很大，造成設備廠商若要開發袋栽自動化系統，沒有一個依循的標準。

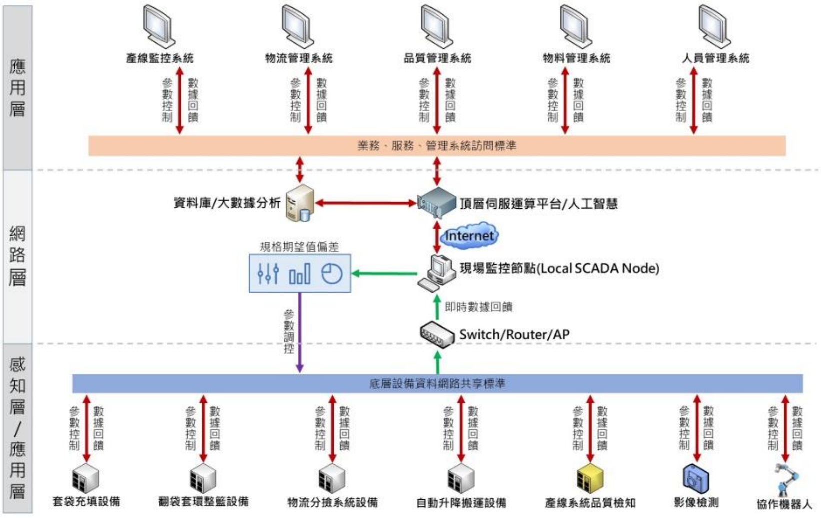
翔元自動化機械有限公司是國內自動化設備專業製造商，在光學產業、光電產業、醫療產業及客製化產業中累積有許多優異的實績。圖十一所示為該公司所研製之袋式自動化香菇製包設備。近年來在台灣少數投入袋栽太空包製包設備之廠商中，屬於技術優勢型企業，目前也正與國立虎尾科技大學及農試所共同研發，發展台灣自主之袋栽太空包製包設備產業以服務國內業者。

圖十一、國內翔元公司所研發之袋式自動化香菇製包設備

菇類智慧化生產技術之發展趨勢

以人力為主的現有生產模式與勞動力持續減少、人均農業資源匱乏與農業資源利用率低、新農民年輕化與勞動力老齡化是阻礙農業實現現代化的主要困境。依賴智慧裝備實現精準化、自動化和智慧化的農業生產，提高農業生產率、資源利用率和土地產出率，是解決以上困境的重要途徑。美國、法國、德國的人均勞動力所負擔耕地面積分別是中國的 145 倍、55 倍、45 倍。在資源利用率方面，美國、法國、德國主要糧食作物的水分生產效率、廢料利用率、農藥利用率分別為 2 kg/m3、65%、50%~60%，相比之下，中國主要糧食作物的水分生產效率、廢料利用率、農藥利用率分別僅有 1kg/m3、35%、25%。發展高效、精準、環保的現代化農業生產、經營模式是解決當前中國農業諸多難題的主要出路[20]。

現有菇類太空包製包生產多採用手工操作加簡單機械化的生產模式，使得製包生產與接種作業效率低，且難以實現無菌接種，故針對目前已有之機械設備，再充分考慮現有生產條件的前提下，將工業領域中的成熟技術和新科技引入到菇類產業的生產中，進而延伸創新出可自動化生產之機構與生產系統[21]。目前菇類產業現況面臨生產成本高漲、欠缺自動化與整合升級、非安定化生產，品質規格待提升等[22]。菇類生產導入工業 4.0 科技，可發展全環控智慧生產、提供消費者安心的溯源產品、建構智農聯盟，批次接單量產，競逐亞洲市場。為導入智慧農業 4.0 科技，在技術研發面須佈建農用智慧生理感測元件、智能化作業機械與人機輔具、生產場域物聯網整合系統、應用巨資支援產銷決策、溯源管理與推播介面等五大類。且需藉由基礎環境面以及專業應用面的關鍵技術誇域研發與投入，包括物聯網應用開發平台、資安防禦、生物感測元件開發與應用、人機協同自動化智慧採收輔具技術、病蟲害自動化辨識監測、結合場域資訊與務聯網整合系統、雲端產銷決策與風險控管整合平台、溯源安全履歷智動化推播介面等，才能補足升級所需技術缺口。[22]



圖十二、農業物聯網基本架構

農業物聯網是一個複雜的系統，涉及電子、通訊、電腦、農學等學科和領域，其關鍵技術可劃分 4 個層次，即感知層、傳輸層、處理層、應用層。如圖十二所示為農業物聯網基本架構。農業物聯網標準是實現農業物聯網技術應用的關鍵，近年來專門應用於農業物聯網的技術標準體系正在不斷完善。以下就各主要技術做簡單說明：[21]

一、感測器技術

首先，整體物聯網必須透過統一的物件辨識技術，其中最常用的就是 RFID 射頻識別無線通信。RFID 技術具有防水、防磁、耐高溫、讀取距離大、資料加密、存儲資料容量大、資訊更改簡單等特點，還可以實現多個標籤的防衝突操作，

從而可以解決很多傳統識別技術上的缺陷，以上特點使得 RFID 成為實現農業物聯網個體規模化識別的主要技術。但是，若是考量成本問題，在技術應用可行下也可以考慮 QR code, DM code, Barcode 等方法。接著依據所要量測之物理量來選用適當的感測器，農業感測器研究不僅涉及到化學分析、物質表面特性、光譜學、生物學、微電子學、遙測學等多門學科的理論探討及加工方式突破，以追求更高的精度、更長的使用壽命、更低的感測成本。

二、網路通訊技術

與各式感測器、農業機具、物流設備及周邊輔助設備等之聯網必須透過匯流排(Bus)，農業現場匯流排(Field bus)為惡劣工作環境設計，保證了農業機械控制系統的高可靠性和即時性。目前農業現場匯流排技術主要包括控制器局域網匯流排(CAN bus)、RS485 匯流排。CAN 匯流排協定是汽車電腦控制系統、嵌入式工業控制局域網的標準匯流排，可靠性高、錯誤檢測能力強，是農機自動化控制、農業物聯網、精準農業應用最多的匯流排技術，基於 CAN2-0B 協定，國際標準組織制訂了農林業機械專用的串列通信匯流排標準 IS01 1783 協定，廣泛應用於農機資料獲取傳輸、農機導航控制、分散式溫室控制、農業環境監控、節水灌溉、水產養殖監控系統等領域。農業現場匯流排技術實現了農業控制系統的分散化、網路化、智慧化。同時，由於其強健性、抗干擾能力強，故障率低，是確保農業物聯網關鍵節點資訊傳輸的必備技術。

無線感測器網路(WSN)是由大量具有線上處理能力的微型感測器節點組成的網路。根據通訊距離、覆蓋範圍可以分為無線局域網技術、無線廣域網路技術，在無線廣域網路技術中，低功耗廣域網路(Low Power Wide-Area Network, LPWAN)技術是近年來物聯網研究的熱點方向之一。無線局域網技術主要包括 ZigBee、Wi-Fi、Bluetooth，是主要頻段為 2.4 GHz 的短距離通訊技術。就無線廣域網路而言，以 LoRa、NB-IoT 為代表的 LPWAN 是未來農業感測器網路組網的主要途徑。LoRa 是非授權頻譜 LPWAN 代表，NB-IoT 是授權頻譜 LPWAN 代表。LoRa 營運方式靈活，可以是以營運商主導的大範圍公開網路，也可以是私人部署的專用區域網路。

三、大數據分析

農業大數據技術是多源異構的海量農業資料的抽象數學描述，是挖掘農業生產、加工、銷售、資源環境、過程等全產業鏈價值資訊的有效工具。農業資料體量大、結構複雜、模態多變、即時性強、關聯度高，通過大數據技術從海量農業資料中獲取價值關係，是解決農業變數高維、強耦合問題的主要途徑。舍恩伯格指出，大數據是人類學習新知識、創造新價值的源泉。農業大數據的主要處理技術是 MapReduce 軟體模型與 Hadoop 架構。近 5 年國際範圍農業大數據研究重點在監測預警、農產品管銷、農業大數據平臺、農業生產決策、農業資源分析及

農業大數據應用等方面。文獻[23]詳列出中國農業科學數據共用中心之資源，值得參考。

四、AI 人工智慧技術

在國際上，農業人工智慧技術的研究始於 2000 年，農業發達國家已經出現商業化的耕作、播種、採摘等面向單一農業業務的智慧型機器人，也具備比較完善的智慧土壤探測、病蟲害識別、氣候災害預警的智慧系統，用於畜禽養殖業的畜禽智慧穿戴產品也已實現量產。農業人工智慧的主要研究方向可概括為知識表現、模式識別、智慧規劃、資訊搜索四方面。從文獻[24]資料中可以發現，農業智慧規劃之研究仍屬大宗。但是隨著人工智慧深度學習(Deep Learning)演算法的廣泛應用，未來農業人工智慧在農業生產前、生產過程、生產後及營運管理等方面將會有更大發展與突破。由於農業領域的未知變數多，且變數間相互影響、關係複雜，對某個區域農業領域有效的農業人工智慧技術在另外的區域內不足以代替人類在農業領域上的重要作用。因此，通過全新的機器學習、模式識別技術研究變數間的複雜關係，從根本上提高基於農業人工智慧的複雜系統在不同地區的相容性、準確性，進一步推進農業機器人技術的整合，是農業人工智慧未來發展重點。[24]

結　語

智慧化菇類生產技術係以智慧農業之物聯網、雲端技術、大數據及人工智慧為發展基礎，台灣擁有非常完整之自動化設備與資通訊產業鏈，是落實智慧農業最大的後盾。目前在眾多袋栽菇類生產上大多以人工生產為主或僅止於半自動化階段，尚未有類似金針菇生產技術那樣高度自動化、高效率生產之模式出現。隨著袋栽太空包製包流程在套袋及翻袋自動化等問題上獲得解決，讓袋栽太空包製包自動化生產，甚至到後段滅菌及栽培等階段之全線自動化生產變成可行。再則因少子化浪潮、青年返鄉意願不高，加上環境氣候變遷導致資源匱乏及大量廢棄物無法順利有效再利用等等問題，此刻正是我們該審慎思考如何藉助高科技力量來翻轉產業結構之契機。若能制定袋式太空包作業標準，提升袋栽太空包生產作業中各階段機構動作準確度(99%以上)，確保產線生產效率，使袋栽太空包製包產量可以提高到 25~30 包/min 以上，再加上建立仿工業 4.0 架構之智慧化袋栽太空包生產作業系統與生產流程，將能達成使生產作業由進料、製包、搬運、栽培、採收等流程一貫化生產之目標。

由於農業相關產業包羅萬象，具有結構複雜、模態多變、即時性強、關聯度高且資料量大等特點，在面對新形態之智慧化生產模式時，將無法以傳統之經營技術與策略思維來因應。透過大數據分析及人工智慧技術從海量農業資料中獲取價值關係，是解決農業變數高維、強耦合問題的主要途徑。應用人工智慧解決農

業的複雜系統在不同地區的相容性、準確性問題，並進一步推動農業機器人技術的整合，是農業人工智慧未來發展重點。同時，因各國對農業物聯網的需求日趨強勁，未來在感測器與生產設備國產化、聯網低成本化、大數據資訊處理智慧化和農業物聯網雲平臺建立等技術領域之研發是建構智慧農業產業的必然發展趨勢。過程中與大學、研究單位與產業界之共同合作研發，建立低成本之各種終端農業模組或次系統，同時逐步展開系統化和實用化的生產技術與創新產品之整合，才能在此波全球農業智慧化浪潮中走出台灣的特色，而這是一個長期且艱巨的過程。

引用文獻

1. 「菇類產業發展」研討會專刊，主編：陳錦桐、石信德、陳繹年、安寶貞，行政院農業委員會農業試驗所，中華民國一百年十月。
2. 呂昀陞，台灣菇類產業現況與未來之展望簡報。
3. 陳美杏、呂昀陞、石信德，新興菇類的栽培與發展，科學發展，446:8-15(2010)。
4. 石信德，食藥用菇類液體菌種栽培技術之潛力，農業生技產業季刊，pp.16-21 (2010 NO.23)。
5. 2017 年中国食用菌行业发展规模及未来发展趋势分析 (http://www.chyxx.com/industry/201801/604713.html)
6. 黃鈞奕(指導教授：周榮源)，袋栽培養基棉花取放模組之研究，國立虎尾科技大學機械設計工程系碩士班碩士論文，中華民國103年7月。
7. 黃燿聖(指導教授：周榮源)，菇類太空包自動化套袋模組之研究，國立虎尾科技大學機械設計工程系碩士班碩士論文，中華民國103年7月。
8. 陳柏翰(指導教授：周榮源)，液態接種噴嘴系統之研究，國立虎尾科技大學機械設計工程系碩士班碩士論文，中華民國103年7月。
9. 阮忠興(指導教授：周榮源)，創新菇類智慧製造產線之研究，國立虎尾科技大學機械設計工程系碩士班碩士論文，中華民國105年7月。
10. 李志仁(指導教授：周榮源)，創新袋式液態接菌系統之研究，國立虎尾科技大學機械設計工程系碩士班碩士論文，中華民國105年7月。
11. 劉瑋珊(指導教授：周榮源)，太空包束口翻袋機構之創新設計，國立虎尾科技大學機械設計工程系碩士班碩士論文，中華民國105年7月。
12. 周榮源，液態菌之高效能噴注接種裝置，中華民國新型專利(M452179)。
13. 周榮源，袋式培養基及液態菌接種之自動化加工設備，中華民國新型專利(M452178)。
14. 周榮源、李志仁，袋式太空包菇類培養壓包機構，中華民國發明專利(發明第I583600號)。
15. Rong-Yuan Jou, Chih-Jen Lee, BAG PACKAGING MECHANIS FOR

MUSHROOM CULTIVATION, US Patent/Application Number 14/979,599.(已獲證；領證中)
16. Rong-Yuan Joua and Trung-Hung Nguyen, Design of the Smart Manufacturing Mushroom Cultivation Factory, The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems, May 3rd – 5th, 2017 Taichung City, Taiwan.
17. Rong-Yuan Jou, Chih-Jen Lee and Trung-Hung Nguyen, Innovative Automation System Design for PP-bag Mushroom Cultivations, The 14th International Conference on Automation Technology (Automation 2017), December 8-10, 2017, Kaohsiung, Taiwan.
18. http://agriauto.bime.ntu.edu.tw/Result/agric12.htm
19. 塗選來、江傳鑽、郭偉虹、塗宇濱、塗宇龍，菌袋自動套套環機，CN105027967A，2015。
20. 李道亮、杨昊，农业物联网技术研究进展与发展趋势分析，李农业机械学报，第49卷第1期(1-20)，2018年1月。
21. 周榮源，「第27屆近代工程技術討論會」邀請發表演講，主題：『智慧化菇類生產技術之前瞻與未來發展』，中華民國107年10月22～23日。
22. 行政院生產力4.0發展方案(核定本)，中華民國104年9月。
23. RUIZ G and LUNADEI L, The role of RFID in agriculture: applications, limitations and challenges, Comput Electron Agric, 2011, 1(79): 42-50.
24. 李道亮、杨昊，农业物联网技术研究进展与发展趋势分析，李农业机械学报，第49卷第1期(1-20)，2018年1月。